

**UJI SENSITIVITAS SENSOR SUHU BERBASIS FIBER OPTIK
POLYMER (POF) YANG BERBENTUK SPIRAL DAN
BERJAKET GEL**

SKRIPSI

Diajukan Kepada
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Disusun oleh

Handy Prianto Utoyo

13306141054

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2017**

PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul “Uji Sensitivitas Sensor Suhu Berbasis Fiber Optik Poymer (POF) Yang Berbentuk Spiral dan Berjaket Gel” yang disusun oleh Handy Prianto U., NIM 13306141054 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.

Yogyakarta, 13 Juli 2017
Pembimbing



Dr. Heru Kuswanto
NIP 19111121987021001



PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Uji Sensitivitas Sensor Suhu Berbasis Fiber Optik Poymer (POF) Yang Berbentuk Spiral dan Berjaket Gel” yang disusun oleh Handy Prianto U., NIM 13306141054 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 31 Juli 2017 dan dinyatakan lulus.

DEWAN PENGUJI

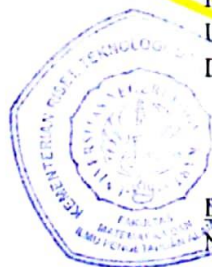
No	Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
1	<u>Dr. Heru Kuswanto</u> NIP 19111121987021001	Ketua Penguji		05/09/2017
2	<u>Drs. Sumarna, M.Si, M.Eng</u> NIP 196103081991011001	Sekretaris Penguji		05/09/2017
3	<u>Dr. Warsono, M.Si</u> NIP 196811011999011002	Penguji Utama		22/03/2017

Yogyakarta, 11-9 - 2017

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

Dekan



Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Handy Prianto Utoyo

NIM : 13306141054

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul Skripsi : Uji Sensitivitas Sensor Suhu Berbasis Fiber Optik
Polymer (POF) Yang Berbentuk Spiral dan Berjaket Gel

menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Tanda tangan dosen penguji yang tertera dalam halaman pengesahan adalah asli. Jika tidak asli, saya siap menerima sanksi ditunda yudisium pada periode selanjutnya.

Yogyakarta, 30 Juli 2017

Yang menyatakan,



Handy Prianto Utoyo
NIM. 13306141054

MOTTO

Kita tidak memiliki waktu untuk meminta hal yang kita tidak punya, kita hanya bisa mencari cara terbaik untuk berjuang dengan apa yang kita punya (Youichi Hiruma).

Talenta adalah sesuatu yang kau buat mekar, insting adalah sesuatu yang kau asah (Oikawa).

Kegagalan adalah informasi untuk mencapai keberhasilan (Handy Prianto Utoyo, 2017).

PERSEMBAHAN

Karya ini kupersembahkan untuk

Bapak, Ibu dan kedua adikku yang selalu memberikan dukungan, semangat, cinta,
serta doa yang sebegitu banyaknya

UJI SENSITIVITAS SENSOR SUHU BERBASIS FIBER OPTIK POLYMER (POF) YANG BERBENTUK SPIRAL DAN BERJAKET GEL

Oleh
Handy Prianto Utoyo
13306141054

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk i) mengetahui sensitivitas sensor suhu berbasis Fiber Optik Polymer (POF) yang di bentuk spiral dan berjaket gel, ii) mengetahui pengaruh jumlah lilitan terhadap sensitivitas sensor suhu berbasis Fiber Optik Polymer (POF) yang di bentuk spiral dan berjaket gel.

Penelitian ini diawali dengan mengelupas jaket pada fiber optik polymer (POF) yang kemudian digantikan dengan selang kecil dan diisi oleh gel. Pada bagian yang telah di kelupas, dibentuk melingkar menyerupai spiral dengan diamter 2,50 cm. Variasi jumlah spiral yang digunakan adalah 1, 3, 5, dan 7 lilitan dengan panjang masing-masing 9 cm, 27 cm, 45 cm dan 63 cm. Sensor suhu ini kemudian di masukkan ke dalam wadah dengan volume air 2 liter. Sinar laser HeNe selanjutnya akan melewati sensor suhu dan daya optik keluarannya akan di tampilkan pada *Optical Power Meter* (OPM) dengan satuan dBm. Interval suhu yang digunakan adalah 6°C - 20°C dengan kenaikan 1 °C.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sensitivitas sensor suhu berbasis fiber optik polymer (POF) terbaik adalah 1,051 dBm/°C dengan jumlah spiral 1 lilitan dan peningkatan jumlah lilitan berpengaruh pada penurunan sensitivitas sensor suhu berbasis fiber optik polymer (POF).

Kata Kunci : Fiber optik polymer (POF), Sensor suhu, Jumlah lilitan.

SENSITIVITY TEST OF TEMPERATURE SENSOR BASED ON POLYMER OPTICAL FIBER (POF) WITH SPIRAL FORM AND JACKETED GEL

By
Handy Prianto U.
13306141054

ABSTRACT

This study aims to i) find out the sensitivity of temperature sensor based on Polymer Optical Fiber (POF) with spiral form and jacketed gel, ii) find out the effect of number of coils on the sensitivity of temperature sensor based on Polymer Optical Fiber (POF) with spiral form and jacketed gel.

This research begins by peeling jackets on Polymer Optical Fiber (POF) which is then replaced with a small hose and filled by gel. In the section that has been in the peel, formed a circular resembles a spiral with a diameter of 2.50 cm. Variations in the number of coils used are 1, 3, 5, and 7 coils with lengths of 9 cm, 27 cm, 45 cm and 63 cm respectively. This temperature sensor is then inserted into a container with a volume of 2 liters of water. HeNe laser rays will then pass through the temperature sensor and the optical power output will be displayed on the Optical Power Meter (OPM) with dBm units. The temperature interval used is 6°C - 20°C with 1 °C increments.

The results of this study indicate that the best sensitivity of temperature sensor based on Polymer Optical Fiber (POF) was 1,051 dBm / °C with the number of spiral was 1 coil and the increasement number of coils was decreased the sensitivity of the polymer optical fiber-based temperature sensor.

Keyword : Polymer Optical Fiber (POF), Temperature sensor, Number of coils

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Shalawat serta salam semoga senantiasa terlimpah curahkan kepada Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya, para sahabatnya, hingga kepada umatnya hingga akhir zaman, amin.

Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta. Judul yang penulis ajukan adalah “ Uji Sensitivitas Sensor Suhu Berbasis Fiber Optik Polymer (POF) Yang Berbentuk Spiral dan Berjaket Gel”.

Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan , bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Dr. Hartono, selaku Dekan FMIPA UNY atas pemberian fasilitas dan bantuannya untuk memperlancar administrasi tugas akhir.
2. Yusman Wiyatmo, M.Si., selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan izin dalam pelaksanaan penelitian skripsi.
3. Nur Kadarisman, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Negeri Yogyakarta serta sebagai Penasehat Akademik, yang telah

memberikan izin dan memberikan bimbingan dan arahan dalam pelaksanaan skripsi ini.

4. Bapak Dr. Heru Kuswanto, selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu untuk membimbing, saran, masukan, arahan, memberi petunjuk dan diskusi yang tiada henti sehingga skripsi ini berhasil terselesaikan dengan baik.
5. Mas Haris, selaku laboran fisika lantai II yang telah memberi pinjaman alat dan membantu dalam pelaksanaan penelitian.
6. Teman-teman Fisika E 2013 yang selalu memberi motivasi dan dukungan.
7. Seluruh pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung

Kami berharap tulisan ini dapat memberikan inspirasi bagi para pembaca. Jika terdapat kesalahan dalam penulisan karya ini, kami mohon maaf yang sebesar-besarnya. Atas perhatiannya kami sampaikan terima kasih.

Yogyakarta, 30 Juli 2017

Penulis

Handy Prianto Utoyo

DAFTAR ISI

	hal
PERSETUJUAN	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Indentifikasi Masalah	3
C. Batasan Masalah	3
D. Perumusan Masalah	3
E. Tujuan Penelitian	4
F. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Deskripsi Teori	5
1. Fiber Optik	5
2. Fiber Optik Polymer	5
3. Struktur Fiber Optik	7
4. Karakteristik Fiber Optik	9
a. Berdasarkan Indeks Bias	9
1) Step-Index Fiber	9
2) Graded-Index Fiber	10
b. Berdasarkan Mode	11
1) Singlemode	11

2) Multimode	12
5. Pemantulan Internal Total	13
6. Numerical Aperture	14
7. Pelemahan Daya Optik	16
a. Absorpsi	17
b. Hamburan Reyleigh	18
c. Pemantulan Fresnel.....	19
d. Hilang daya akibat pembengkokan (<i>bending losses</i>)	21
8. Desibel	23
9. Sensor Fiber Optik	24
10. Suhu	27
11. Gel	27
a. Swelling	28
b. Sineres	28
c. Efek Suhu	29
d. Efek Elektrolit	29
e. Elastisitas dan Rigiditas	30
f. Rheologi	30
B. Kerangka Berpikir	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
A. Waktu dan Tempat	32
B. Variabel Penelitian	32
C. Alat dan Bahan	32
D. Desain Penelitian	35
E. Prosedur Penelitian	36
F. Teknik Analisis Data	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
A. Hasil Penelitian	38
1. Pengaruh suhu terhadap daya optik	38
a. 1 lilitan	38
b. 3 lilitan	39
c. 5 lilitan	39

d. 7 lilitan	40
2. Fitting Logarithmic	40
B. Pembahasan	43
1. Karakterisasi Fiber Optik Polymer (POF)	43
2. Sensitivitas sensor suhu berbasis Fiber Optik Polymer (POF).....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
A. Kesimpulan	47
B. Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi POF tipe SH-4001-1.3	6
Tabel 2. Kinerja POF tipe SH-4001-1.3	7
Tabel 3. Spesifikasi Perlakuan Fiber Optik Polymer (POF)	35
Tabel 4. Tabel hasil fitting logarithmic untuk jumlah spiral masing-masing..	43
Tabel 5. Lineritas dan sensitivitas POF untuk jumlah spiral yang berbeda	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Susunan fiber optik	8
Gambar 2. Jalur sinar pada Fiber Step-index	10
Gambar 3. Jalur sinar pada Fiber graded-index	11
Gambar 4. Fiber optik single mode	11
Gambar 5. Jenis fiber optik Multimode	12
Gambar 6. Pemantulan internal sempurna	13
Gambar 7. Proses Perambatan Cahaya Pada Fiber Optik	15
Gambar 8. Cahaya terpancar ke segala arah	19
Gambar 9. Pemantulan Fresnel	20
Gambar 10. Pemantulan Fresnel di setiap bidang batas	20
Gambar 11. Pembengkokan sinar di dalam inti serat optik dengan variasi sudut datang	22
Gambar 12. Struktur inti POF bocor tanpa io-ion logam $n_2 > n_1$	25
Gambar 13. Skema sistem sensor fiber optik	26
Gambar 14. desain alat penelitian	35
Gambar 15. Grafik suhu dengan daya optik untuk 1 lilitan	38
Gambar 16. Grafik suhu dengan daya optik untuk 3 lilitan	39
Gambar 17. Grafik suhu dengan daya optik untuk 5 lilitan	39
Gambar 18. Grafik suhu dengan daya optik untuk 7 lilitan	40
Gambar 19. Grafik fitting logarithmic untuk hubungan suhu dan daya optik pada 1 lilitan.....	41
Gambar 20. Grafik fitting logarithmic untuk hubungan suhu dan daya optik pada 3 lilitan	41
Gambar 21. Grafik fitting logarithmic untuk hubungan suhu dan daya optik pada 5 lilitan.....	42
Gambar 22. Grafik fitting logarithmic untuk hubungan suhu dan daya optik pada 7 lilitan.....	42

DAFTAR LAMPIRAN

1. Data hasil percobaan untuk variasi jumlah lilitan pada sensor suhu berbasis Fiber Optik Polymer(POF).....	50
2. Skema Penelitian	53

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Kemajuan teknologi telah mengakibatkan banyak sistem dan sensor yang dapat digunakan untuk pengukuran berbagai jenis variabel fisika. Para ilmuwan telah mengembangkan banyak sensor berbasis fiber optik sebagai sensor serbaguna dengan keunggulan dalam berbagai hal: sensitivitas, selektivitas, fleksibilitas, akurasi, ukuran yang lebih kecil, ringan dan dapat digunakan untuk pengukuran dan penginderaan jauh (Arifin, dkk, 2017:1).

Bidang sensor suhu mencakup persentase yang tinggi dari pasar sensor dunia saat ini karena banyaknya aplikasi yang diperlukan untuk mengukur suhu, misalnya: industri otomotif, kontrol AC dan industri kimia. Meskipun demikian, sensor suhu tradisional seperti termokopel dan termistor tidak sesuai untuk digunakan saat kebutuhan spesifik dibutuhkan. Alat pengukur suhu konvensional seperti termistor, termokopel dan perangkat jenis bi-logam tidak diinginkan untuk digunakan dalam aplikasi pesawat udara. Perangkat seperti itu rentan terhadap gangguan elektromagnetik, berat dan bisa menyebabkan percikan. Sensor yang menggunakan Fiber Optik telah digunakan untuk berbagai aplikasi. Sensor fiber optik lebih ringan dalam berat daripada sensor konvensional, tidak rentan terhadap gangguan elektromagnetik, memiliki lebar pita yang lebih besar dan memiliki keamanan yang meningkat karena kurang rentan terhadap percikan (Takeo dan Philip, 2000:1). Di sisi lain, fiber optik, sebagai media fisik, mengalami

beberapa gangguan sepanjang waktu. Oleh karena itu, geometris (ukuran, bentuk) dan optik (indeks bias, konversi mode) berubah ke tingkat yang lebih besar atau lebih kecil tergantung pada sifat dan besarnya gangguan (Bahreh dan Hooman, 2008:1107).

Sensor suhu fiber optik menawarkan keunggulan unik, seperti kekebalan terhadap gangguan elektromagnetik, stabilitas, pengulangan, daya tahan terhadap lingkungan yang keras, sensitivitas tinggi, resolusi tinggi, dan respon cepat. Oleh karena itu, sensor fiber optik telah diadopsi secara luas dan diterapkan di berbagai area untuk pengukuran suhu (Enbang Li, dkk, 2006:89). Fiber optik polymer dikembangkan sebagai sensor karena mudah diubah – ubah dan lebih mudah diberi perlakuan. Perlakuan ini dapat berupa pemanasan, memberi bahan sambungan, tekanan, lekukan ataupun dengan memberi perlakuan dengan penggantian jaket pelindung (Crisp dan Elliot, 2008: 52-58). Selain itu, Fiber Optik Polymer (POF) menonjol untuk fleksibilitas yang lebih besar dan ketahanan terhadap tubrukan dan getaran. Karena manfaat ini, variasi dari aplikasi dengan Fiber Optik Polymer (POF) telah dikembangkan dan dikomersialkan, dari penggunaannya sebagai transmisi cahaya sederhana hingga pemanfaatannya sebagai sensor (Zubia dan Arrue, 2002:103).

Penelitian ini akan menggunakan fiber optik polymer (POF) sebagai dasar pembuatan sensor suhu dengan ragam kelengkungan berbentuk spiral. Kelengkungan fiber optik merupakan salah satu aspek yang sering digunakan dalam sistem pengukuran berdasarkan sensor fiber optik (Arifin, dkk, 2017:1).

Hal ini dilakukan untuk mengetahui sensitivitas sensor suhu berbasis fiber optik polymer (POF).

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah penelitian diatas, dapat diidentifikasi berbagai permasalahan sebagai berikut:

1. Sensor suhu konvensional rentan dan memiliki banyak kekurangan
2. Perubahan suhu mempengaruhi keluaran daya optik..

C. Batasan Masalah

Penelitian ini difokuskan pada sensor suhu berbasis fiber optik polymer (POF). Hal ini dilakukan karena peneliti fiber optik polymer (POF) mudah di berikan perlakuan sehingga cocok untuk dijadikan sensor. Selain itu perlakuan pada fiber optik polymer (POF) dibatasi dengan membentuk lekukan berbentuk spiral dengan ragam jumlah lilitan yang dinamakan sensor head. Dimana sensor head telah dikelupas jaket dan digantikan dengan gel.

D. Rumusan Masalah

Dari identifikasi dan batasan masalah diatas, maka dapat di rumuskan permasalahannya, yaitu:

1. Mengetahui sensitivitas sensor suhu berbasis Fiber Optik Polymer (POF) yang di bentuk spiral dan berjaket gel.

2. Mengetahui pengaruh jumlah lilitan terhadap sensitivitas sensor suhu berbasis Fiber Optik Polymer (POF) yang di bentuk spiral dan berjaket gel.

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini, yaitu:

1. Untuk mengetahui sensitivitas sensor suhu berbasis Fiber Optik Polymer (POF) yang di bentuk spiral dan berjaket gel.
2. Untuk mengetahui pengaruh jumlah lilitan terhadap sensitivitas sensor suhu berbasis Fiber Optik Polymer (POF) yang di bentuk spiral dan berjaket gel.

F. Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Dapat memberi informasi mengenai pengaruh jumlah lilitan terhadap sensitivitas sensor suhu berbasis Fiber Optik Polymer (POF) yang di bentuk spiral dan berjaket gel.
2. Dapat mengaplikasikan Fiber Optik Polymer di bidang sensor suhu.
3. Ikut serta dalam pengembangan sensor suhu.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

A. Deskripsi Teori

1. Fiber Optik

Fiber optik merupakan sebuah bahan transparan yang sangat jernih atau kabel yang terbuat dari bahan semacam ini, yang dapat digunakan untuk mentransmisikan gelombang cahaya. Sistem fiber optik adalah sistem komunikasi data dan suara, atau cabang ilmu teknik yang berurusan dengan sistem komunikasi, yang memanfaatkan fiber optik sebagai medium transmisinya. Fiber atau serat adalah sebutan singkat yang sering digunakan untuk kedua hal di atas di dalam berbagai situasi praktis. Maka, boleh juga dikatakan bahwa fiber digunakan pada sebuah sistem fiber (Crisp dan Elliot, 2008: 10).

2. Fiber Optik Polymer

Fiber Optik Polymer (POF) adalah Fiber optik yang terbuat dari plastik. PMMA (akrilik) adalah bahan inti dan polimer fluorinated adalah bahan selongsong. Fiber optik plastik dikembangkan sebagai sensor karena mudah diubah – ubah dan lebih mudah diberi perlakuan. Perlakuan ini dapat berupa pemanasan, memberi bahan sambungan, tekanan, lekukan ataupun dengan memberi perlakuan dengan penggantian selongsong dan jaket pelindung (Crisp dan Elliot, 2008: 52-58).

Fiber optik polymer berfungsi sebagai pelengkap untuk fiber kaca dalam hubungan komunikasi jarak pendek karena mudah ditangani, fleksibel, dan ekonomis, meski tidak digunakan dalam jarak yang sangat jauh karena redamannya yang relatif tinggi. Karakteristik ini sangat sesuai sebagai sarana koneksi antar jaringan besar fiber optik kaca dan area perumahan, di mana jarak yang ditempuh umumnya kurang dari 1 km (Zubie dan Arrue, 2001:102)

Tabel 1: Spesifikasi POF tipe SH-4001-1.3 (Sumber:<http://i-fiberoptics.com>)

Structure		
Core Material	Polymethyl-Methacrylate Resin	
Cladding Material	Fluorinated Polymer	
Core Refractive Index	1.49	
Refractive Index Profile	Step-index	
Numerical Aperture	.50	
Number of Fibers	1	
	Unit	Value
Core Diameter	μm	920 - 1040
Cladding Diameter	μm	940 - 1060
Approximate Weight	g/m	1.5
Buffer/Jacket		
Material and Color	Polyethylene (black)	
Indication on Jacket	None	
	Unit	Value
Outer Diameter	mm	1.3 ± .05
Fiber Tensile Strength	N	65

Tabel 2: Kinerja POF tipe SH-4001-1.3

Performance		Criteria for Acceptance and/or [Test Conditions]	Unit	Value
Maximum Rating	Storage Temperature	No Physical Deterioration [in a Dry Atmosphere]	° C	- 55 ~ 70
	Operating Temperature	No Deterioration in Optical Properties [in a Dry Atmosphere]	° C	- 55 ~ 70
		No Deterioration in Optical Properties [under 95% RH condition]	° C	+ 60 Max.
Optical Properties	Transmission Loss	(650 nm Collimated Light) [25°C 50% RH]	dB/m	.19 Max.
	Transmission Loss under 95% RH	(650 nm Collimated Light) [Operating Temperature]	dB/m	.21 Max.
Mechanical Characteristics	Minimum Bend Radius	Loss Increment <0.5 dB [A Quarter Bend]	mm	25
	Tensile Strength	Tensile Force at 5% [Elongation: Conforms to JIS C. 6861]	N	65
	Twisting Strength	Loss Increment <1 dB [Sample Length: 1 m Tensile Force: 4.9 N]	Times	5

3. Struktur Fiber Optik

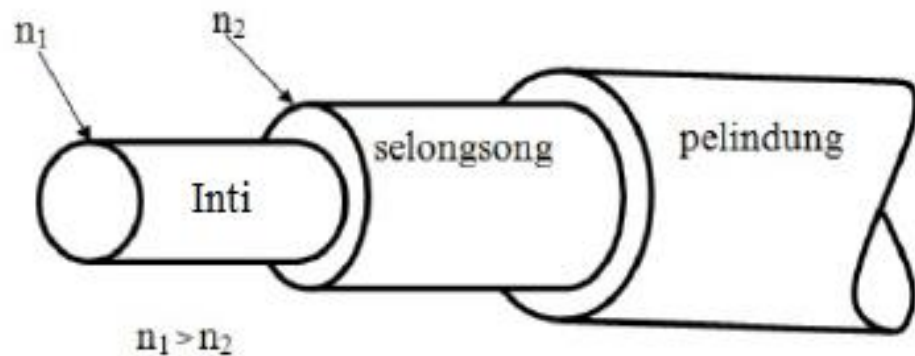
Fiber optik terdiri dari teras (inti), selongsong dan jaket pelindung. Inti dan selongsong dibuat berbeda indeks bias, agar bisa terjadi pemantulan internal total. Pemantulan internal total inilah yang menyebabkan cahaya tetap berada di dalam fiber optik. Sementara jaket pelindung (*buffer primer*) digunakan untuk melindungi fiber optik dari kondisi lingkungan yang merusak.

Inti adalah inti serat optik yang berfungsi sebagai pipa cahaya. Cahaya merambat dalam teras dari ujung ke ujung dengan bantuan proses pemantulan yang terjadi pada dinding batas atau batas permukaan inti dengan selongsong. Ukuran inti mempengaruhi karakteristik dari serat optik.

Selongsong berfungsi sebagai cermin yaitu memantulkan cahaya agar dapat merambat ke ujung lainnya. Dengan adanya selongsong ini

cahaya dapat merambat dalam teras serat optik. Selongsong mempunyai indeks bias yang lebih kecil dari inti. Hubungan indeks bias antara inti dan selongsong akan mempengaruhi perambatan cahaya pada inti (mempengaruhi besarnya sudut kritis). Selongsong didesain sedemikian rupa sehingga indeks biasnya lebih kecil dari inti. Hal ini dirancang untuk memudahkan terjadinya “*total internal reflection*” dalam perambatannya dari ujung ke ujung serat optik.

Jaket pelindung adalah pelindung lapisan teras dan selongsong. Fiber optik diberi jaket pelindung yang kegunaannya untuk menghindari terjadinya kerusakan yang disebabkan oleh pengaruh luar baik pada saat penggunaan atau akibat pengaruh lain, bagian ini terlibat dalam memandu cahaya (Ahmad,2003: 4).



Gambar 1: Susunan fiber optik (Gerd Keiser, 1991: 26)

4. Karakteristik Fiber Optik

Pembagian fiber optik dapat dilihat dari jalur yang dilewati cahaya di dalam fiber optik (Mode) dan indeks biasnya.

a. Berdasarkan index bias:

1) Step-Index Fibers

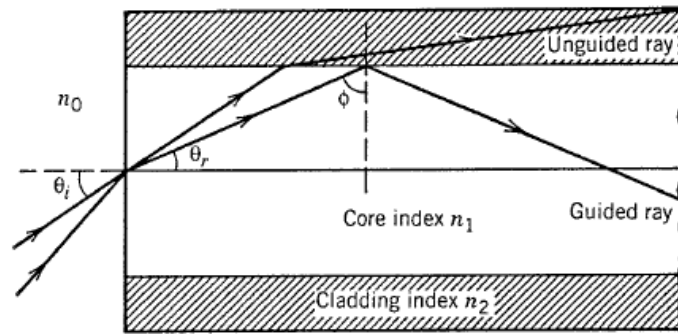
Perhatikan Gambar 2, di mana sinar membuat sudut θ_i dengan sumbu fiber di pusat inti. Karena pembiasan pada antarmuka fiber-udara, sinar berbelok menuju normal. Sudut θ_r dari sinar refraksi diberikan oleh

$$n_0 \sin \theta_i = n_1 \sin \theta_r$$

Dimana n_1 dan n_0 adalah indeks bias dari inti fiber dan udara. Sinar yang dibiaskan menyentuh antarmuka selongsong-inti dan dibiaskan lagi. Namun, pembiasan hanya mungkin untuk sudut datang φ seperti $\sin \varphi < n_2/n_1$. untuk sudut yang lebih besar dibanding sudut kritis φ_c , yang didefinisikan oleh

$$\sin \varphi_c = n_2/n_1$$

Dimana n_2 adalah indeks selongsong, sinar mengalami refleksi internal total pada antarmuka inti-selongsong. Karena pantulan semacam itu terjadi sepanjang panjang fiber, semua sinar dengan $\varphi > \varphi_c$ tetap terbatas pada inti fiber. Ini adalah mekanisme dasar di balik kurungan cahaya pada fiber optik.



Gambar 2: Jalur sinar pada Fiber Step-index (Govind, 2002:25)

2) Graded-Index Fibers

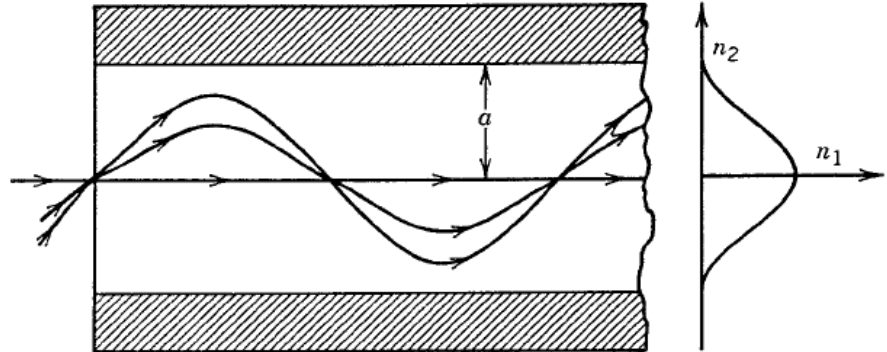
Indeks bias inti dalam fiber *graded-index* tidak konstan namun menurun secara bertahap dari nilai maksimum n_1 di pusat inti ke nilai minimum n_2 pada antarmuka inti-selongsong. Sebagian besar fiber graded-index dirancang untuk mengalami penurunan mendekati kuadrat dan dianalisis dengan menggunakan profil α , yang diberikan oleh

$$n(\rho) = \begin{cases} n_1[1 - \Delta(\rho/a)^\alpha]; & \rho < a \\ n_1(1 - \Delta) = n_2; & \rho \geq a \end{cases}$$

Dimana a adalah jari-jari inti. Parameter α menentukan profil indeks. Serat indeks parabolik sesuai dengan $\alpha = 2$.

Gambar 3 menunjukkan jalur skematik untuk tiga sinar yang berbeda. Namun, kecepatan sinar di sepanjang jalur berubah karena variasi indeks bias. Sinar yang berjalan disepanjang sumbu fiber menempuh jalur terpendek namun berjalan paling lambat karena memiliki medium indeks terbesar di sepanjang jalur ini. Sinar miring memiliki sebagian besar jalur dalam medium indeks bias rendah, di mana perjalanan sinar lebih cepat.

Oleh karena itu, memungkinkan semua sinar tiba bersamaan pada keluaran fiber. (Govind, 2002:24-28)

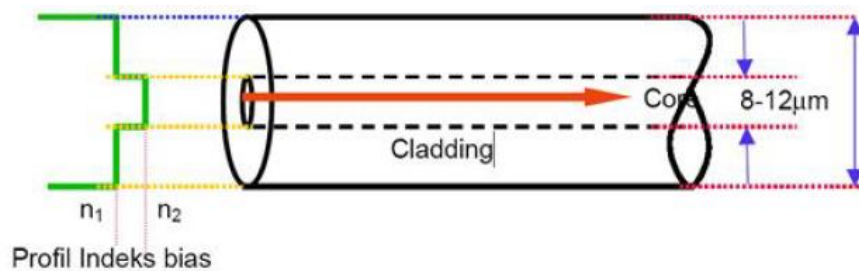


Gambar 3: Jalur sinar pada Fiber graded-index (Govind, 2002:27)

b. Berdasarkan Mode:

1) Singlemode

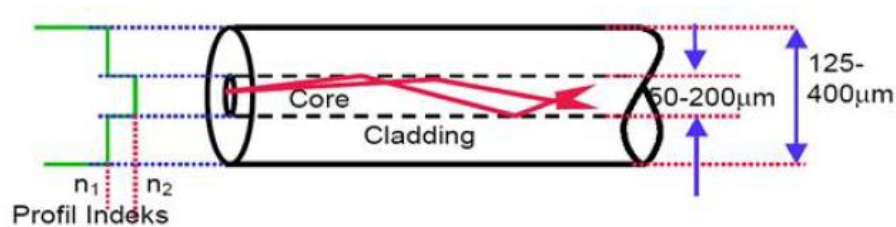
Singlemode mempunyai ukuran diameter inti yang sangat kecil yaitu sekitar 4-10 μm dan diameter selongsong sebesar 125 μm . Fiber optik ini hanya dapat mentransmisikan sinyal dalam satu mode. Karena *singlemode* hanya mentransmisikan sinyal pada mode utama, sehingga dapat mencegah terjadinya dispersi kromatik. Pita frekuensi dan kapasitas transmisi yang besar.



Gambar 4: Fiber optik single mode (Crisp dan Elliot, 2008: 74)

2) Multimode

Pada panjang gelombang operasi tertentu, jika fiber optik mentransmisikan sinyal dalam berbagai mode disebut fiber *multimode*. Fiber multimode biasanya memiliki diameter inti antara (50 - 70) μm dan diameter selongsong antara (100 - 200) μm . Jenis fiber ini biasanya memiliki performansi transmisi yang buruk, *bandwidth* yang sempit dan kapasitas transmisi yang kecil.



Gambar 5: Jenis fiber optik Multimode (Crisp dan Elliot, 2008: 74)

Menurut Thomas Sri Widodo (1992: 2) fiber optik mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan medium transmisi yang lain, yaitu: mempunyai lebar pita (*bandwidth*) yang sangat lebar hingga dapat mencapai orde giga hertz, ukuran sangat kecil dan murah, sehingga mudah dalam penanganan dan instalasi, isyarat cahaya tidak berpengaruh oleh medan listrik maupun medan magnet, isyarat dalam kabel fiber terjamin keamanannya dan karena dalam fiber optik tidak terdapat tenaga listrik maka tidak akan terjadi ledakan maupun percikan api.

5. Pemantulan Internal Total

Sudut kritis berperan sangat penting di dalam prinsip kerja fiber optik. Jika cahaya merambat dengan sudut datang yang kurang dari sudut kritis, maka cahaya tersebut akan dibiaskan keluar dari bahan pertama. Akan tetapi, jika cahaya merambat menuju bidang perbatasan dengan sudut datang yang lebih besar dari sudut kritis, maka cahaya tersebut akan dipantulkan kembali (oleh bidang perbatasan) ke dalam bahan pertama. Dalam kasus ini, bidang perbatasan hanya berperan sebagai sebuah bidang pemantul ('cermin'). Efek semacam ini disebut sebagai pemantulan internal sempurna (*total internal reflection*/TIR). Gambar 6 melukiskan terjadinya efek ini.



Gambar 6: Pemantulan internal sempurna (Crisp dan Elliot, 2008: 18)

6. Numerical Aperture

Numerical Aperture adalah parameter yang mengukur kemampuan fiber optik untuk menangkap atau mengumpulkan cahaya. Selain numerical aperture sudut penerima juga mengindikasikan berapa cahaya yang dapat diterima ke dalam fiber optik.

Sinar cahaya menyebar melalui jalur diskrit pada fiber. Setiap jalur yang berbeda disebut mode dan sesuai dengan sudut kejadian tertentu. Akibatnya, mode yang berbeda membutuhkan waktu yang berbeda untuk menempuh perjalanan sepanjang fiber. *Numerical Aperture* dibatasi oleh perbedaan indeks bias antara selongsong dan inti. Dengan demikian, *Numerical Aperture* berhubungan langsung dengan sudut penerimaan dan dijelaskan dengan rumus(Thorat, dkk, 2014:96):

$$NA = n_1(2\Delta)^{1/2}, \Delta = (n_1 - n_2)/n_1$$

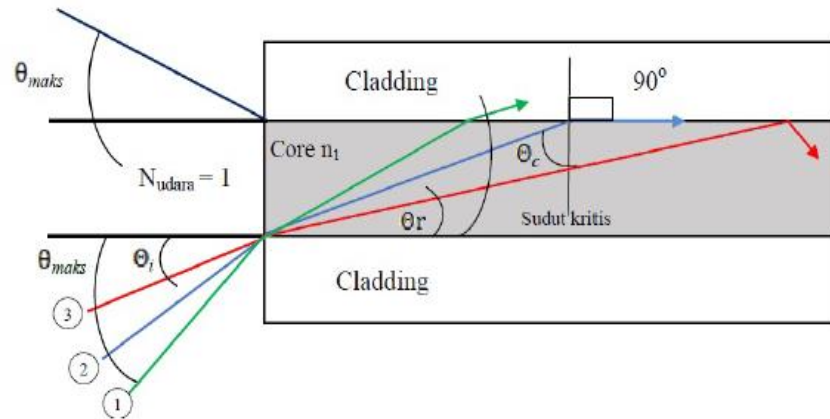
Sehingga,

$$NA = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

Dimana Δ adalah indeks fraksional yang berubah pada permukaan inti-selongsong. Maka Δ , harus dibuat sebesar mungkin agar dapat mencapai cahaya maksimum ke dalam fiber (Govind, 2002:25). Dengan n_1 adalah indeks bias inti dan n_2 adalah indeks bias selongsong.

Pada gambar 7 menunjukkan adanya sudut θ_{maks} yang merupakan sudut maksimum penerimaan agar cahaya dapat masuk kedalam fiber optik. Cahaya tidak dapat masuk apabila melebihi wilayah θ_{maks} karena cahaya yang masuk dengan sudut datang lebih besar daripada θ_{maks} akan

menyebabkan cahaya yang masuk tidak dapat berlanjut keluar. Sedangkan semua cahaya yang berada dalam wilayah θ_{maks} dapat masuk dalam fiber optik dengan batas kritis sejauh θ_{maks} (Harsono, 2010: 16).



Gambar 7: Proses Perambatan Cahaya Fiber Optik (Harsono, 2010: 16)

Keterangan gambar:

1. Cahaya masuk kedalam selongsong
2. Cahaya yang masuk dengan sudut kritis
3. Cahaya yang merambat kedalam inti

Fiber optik dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok dari sudut pandang penjarannya: *singlemode*, dengan inti yang relatif kecil yang membutuhkan model gelombang cahaya dan *multimode*, yang memiliki inti cukup besar untuk dianalisis dengan model melacak sinar geometris.

Perbatasan antara kedua kelompok ditentukan dengan parameter struktural V , yang diberikan oleh

$$V = \frac{2\pi p}{\lambda} (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

Dimana panjang gelombang cahaya yang menyebar melalui fiber (biasanya 650 nm dengan PMMA POFs dan 850 dan 1310 dengan perfluorinated (PF). POFs.). Bila nilai parameter V , yang disebut frekuensi normalisasi lebih tinggi dari 2.405, dapat dibuktikan bahwa perilaku fiber *step-index* adalah *multimode*. (Thorat, dkk, 2014:97)

7. Pelemahan Daya Fiber Optik

Pelemahan fiber biasanya disebabkan oleh karena penyerapan (absorpsi) energi sinyal oleh bahan, pancaran rayleigh, pemantulan fresnel dan pengaruh penyambungan. Semakin besar atenuasi berarti semakin sedikit cahaya yang dapat mencapai detektor dan dengan demikian semakin pendek kemungkinan jarak antar pengulang.

Dalam kondisi umum, perubahan pada rata-rata daya optik P dari aliran kecil yang menyebar di dalam fiber optik diatur oleh hukum Beer:

$$dP/dz = -\alpha P$$

Dimana α adalah koefisien pelemahan. Meskipun dilambangkan dengan simbol yang sama dengan koefisien penyerapan (absorpsi), α dalam Persamaan diatas tidak hanya mencakup penyerapan materi tetapi juga sumber pelemahan daya lainnya. Jika P_{in} adalah daya yang

diluncurkan pada ujung input dari fiber sepanjang L , daya keluaran P_{out} diberikan oleh

$$P_{out} = P_{in} \exp(-\alpha L).$$

Adalah lazim untuk mengekspresikan α dalam satuan dB / km dengan menggunakan relasi

$$\alpha \left(\frac{dB}{km} \right) = -\frac{10}{L} \log_{10} \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \approx 4.343\alpha$$

Dan menyebutnya fiber-loss parameter (Govind, 2002:55).

Besaran pelemahan energi sinyal informasi dari serat optik yang biasa dinyatakan perbandingan antara daya pancaran awal terhadap daya yang diterima dinyatakan dalam decibel (dB) disebabkan oleh 3 faktor utama yaitu absorpsi, hamburan (*scattering*), dan lekukan (*bending losses*).

a. Absorpsi

Penyerapan (Absorpsi) merupakan sifat alami suatu gelas. Pada daerah-daerah tertentu gelas dapat mengabsorpsi sebagian besar cahaya seperti daerah ultraviolet dan mengubahnya menjadi panas. Zat kotoran (*impurity*) apa pun yang tersisa di dalam bahan inti akan menyerap sebagian dari energi cahaya yang merambat di dalam fiber optik. Kontaminan yang menimbulkan efek paling serius adalah ion-ion hidroksil dan zat-zat logam.

Ion-ion hidroksil sebenarnya adalah wujud lain dari air yang akan menyerap secara besar-besaran energi gelombang dengan panjang 1380 nm. Demikian pula zat-zat logam akan menyerap energi gelombang

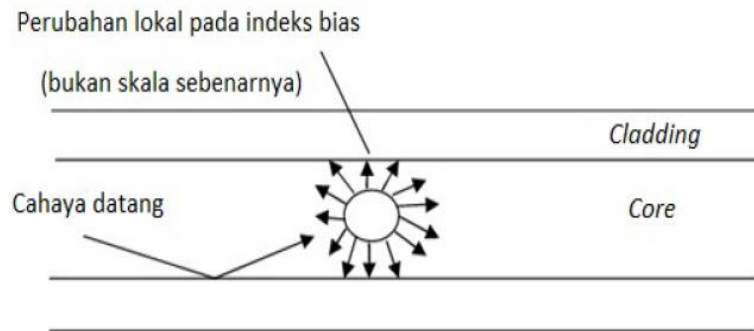
dengan berbagai nilai panjang tertentu. Untuk permasalahan ini, jawaban yang paling tepat adalah mencegah timbulnya kontaminan atau tertinggalnya zat-zat kotoran di dalam kaca saat proses manufaktur dilakukan. Kandungan kontaminan harus dapat ditekan sekecil mungkin, dengan perbandingan ideal 1 di dalam 10^9 untuk air dan 1 di dalam 10^{10} untuk zat logam.

b. Hamburan Rayleigh

Pancaran Rayleigh (*Rayleigh scatter*) adalah efek terpancarnya cahaya akibat terjadinya perubahan kecil yang bersifat lokal pada indeks bias pada bahan inti dan bahan selongsong. Dikatakan bersifat ‘lokal’ karena perubahan itu hanya terjadi di lokasi-lokasi tertentu saja di dalam bahan dan ukuran daerah yang terkena pengaruh perubahan ini sangat kecil, yaitu kurang dari satu panjang gelombang cahaya.

Terdapat dua hal yang menyebabkan terjadinya fenomena ini dan keduanya timbul di dalam proses manufaktur. Penyebab pertama adalah terdapatnya ketidakmerataan di dalam ‘adonan’ bahan-bahan pembuat fiber optik. Ketidakmerataan dalam jumlah yang sangat kecil dan bersifat acak ini mustahil untuk sepenuhnya dihilangkan. Penyebab kedua adalah pergeseran-pergeseran kecil pada kerapatan bahan yang biasanya terjadi saat kaca silika mulai membeku dan menjadi rapat. Salah satu lokasi ‘cacat’ ini dan efek pancaran rayleigh yang ditimbulkannya diilustrasikan dalam Gambar 8. Dalam gambar diperlihatkan bahwa cahaya terpecah dan terpancar ke segala arah. Semua komponen pancaran cahaya yang

merambat dengan sudut datang kurang dari sudut kritis akan dapat menembus selongsong dan hilang sebagai pelemahan daya.



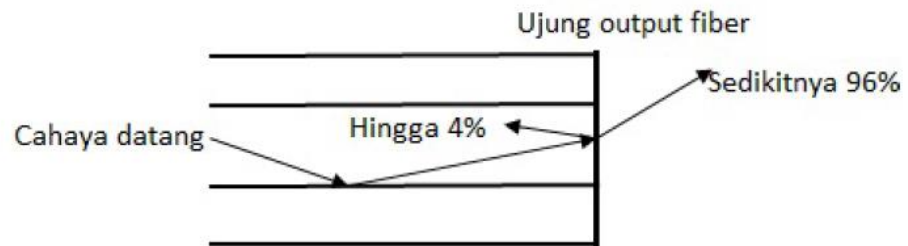
Gambar 8: Cahaya terpancar ke segala arah (Crip dan Elliott, 2008: 59)

Intensitas efek ini pada cahaya yang menumbuk daerah perubahan bergantung pada ukuran daerah perubahan relatif terhadap panjang gelombang cahaya yang bersangkutan. Sehingga, cahaya dengan panjang gelombang paling kecil atau frekuensi tertinggi, akan paling besar terkena dampak pancaran ini.

c. Pemantulan Fresnel

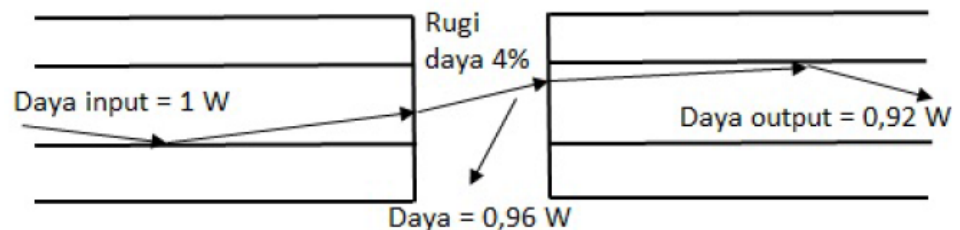
Ketika cahaya menumbuk sebuah titik perubahan indeks bias dan terpancar ke segala arah, komponen pancaran yang merambat dengan sudut datang mendekati garis normal (90°) akan langsung lewat menembus bidang perbatasan. Akan tetapi tidak semua bagian dari cahaya yang datang dengan sudut mendekati garis normal akan menembus bidang perbatasan. Sebagian kecil dari cahaya itu akan terpantul balik di bidang perbatasan.

Efek ini dapat menjadi masalah untuk cahaya yang meninggalkan ujung output fiber optik, seperti Gambar 9.



Gambar 9: Pemantulan Fresnel (Crisp dan Elliott, 2008: 61)

Di titik ini, terjadi perubahan seketika dari indeks bias inti ke indeks bias udara yang ada di luar fiber optik. Efek yang sama juga terjadi pada arah yang berlawanan. Sebagian sangat kecil cahaya yang datang dan hendak memasuki fiber optik akan terpantul balik oleh bidang perbatasan udara dan inti, seperti Gambar 10.



Gambar 10: Pemantulan Fresnel di setiap bidang batas (Crisp dan Elliott, 2008: 61)

Pada gambar 10 terdapat dua bidang batas yaitu bidang pertama adalah inti fiber optik dengan udara sedangkan bidang batas yang kedua adalah antara udara dengan inti fiber optik. Pada bidang batas pertama

terjadi rugi daya sebesar 4% dari cahaya datang sebesar 100%. Begitu juga pada bidang batas kedua terjadi rugi daya sebesar 4%, sehingga daya keluaran menjadi 92%.

Seberapa besar proporsi cahaya yang menembus bidang perbatasan dan seberapa besar yang terpantul balik ditentukan oleh besarnya perubahan indeks bias di bidang perbatasan dan dapat ditentukan menggunakan rumus:

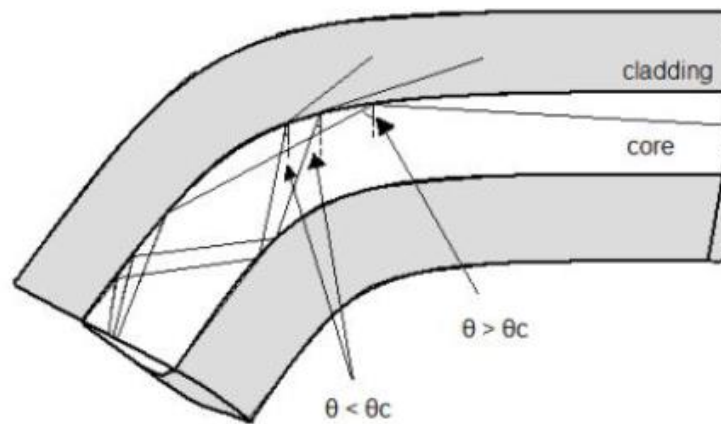
$$\text{daya terpantul} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2$$

d. Hilang daya akibat pembengkokkan (*bending losses*)

Bending yaitu pembengkokkan serat optik yang menyebabkan cahaya yang merambat pada serat optik berbelok dari arah transmisi dan hilang. Sebagai contoh, pada serat optik yang mendapat tekanan cukup keras dapat menyebabkan ukuran diameter serat optik menjadi berbeda dari diameter semula, sehingga mempengaruhi sifat transmisi cahaya di dalamnya. *Macrobending* atau bengkokan makro adalah pembengkokkan serat optik yang menyebabkan cahaya yang memantul atau merambat pada serat optik, berbelok arah transmisinya. Cahaya yang berbelok tersebut bisa keluar dari kabel ketika dibengkokkan. *Macrobending* dari fiber optik adalah atenuasi yang terkait dengan pembengkokkan atau pembungkusan fiber.

Cahaya bisa "bocor" dari fiber saat fiber dibengkokkan; Saat pembengkokkan menjadi lebih tajam, semakin banyak cahaya yang keluar.

Hanya sedikit presentase cahaya yang dibiaskan dari gelombang saat dibengkokkan. Semakin banyak cahaya yang dibiaskan dari fiber maka diameter pembengkokkan lebih kecil. (Ajoy dan K.Thyagarajan, 2010:2)



Gambar 11: Pembengkokan sinar di dalam inti serat optik dengan variasi sudut datang

(André, dkk, 2006:1)

Berdasarkan prinsip pemantulan dan pembiasan cahaya, jika sudut datang lebih kecil dari sudut kritis, maka mode cahaya tidak dipantulkan secara sempurna melainkan lebih banyak dibiaskan keluar dari inti serat optik. Sedangkan untuk sinar yang membentuk sudut datang lebih besar dari sudut kritis, sebagian besar mode cahaya akan dipantulkan kembali masuk ke dalam selubung seperti halnya prinsip pemantulan total. Kondisi ini mengakibatkan perubahan mode. Jumlah radiasi optik dari lengkungan serat tergantung kekuatan medan dan kelengkungan jari-jari.

8. Desibel

Desibel adalah nilai perbandingan (rasio) antara dua buah nilai daya (Gred Keiser, 1984: 301) dalam rumus:

$$Gain = 10 \log \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \text{ dB}$$

dapat dilihat adanya dua buah nilai daya yang dinyatakan dalam satuan baku watt, yaitu daya output dan daya input. Penggunaan desibel untuk menyatakan nilai daya, yaitu untuk dijadikan satuan daya menggunakan watt, maka diasumsikan suatu nilai tertentu untuk daya input. Sehingga rumus desibel akan berubah dari bentuk aslinya.

$$G_{dB} = 10 \log \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \text{ dB}$$

Nilai daya yang diasumsikan biasanya adalah 1 mW, yang penting untuk diingat adalah bahwa 0 dBm = 1 mW (Gerd Keiser, 1984:302) sehingga rumus diatas menjadi

$$G_{dBm} = 10 \log \left(\frac{P_{out}}{1\text{mW}} \right) \text{ dBm}$$

Hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa dB dapat digunakan untuk mendeskripsikan baik perolehan maupun pelemahan dBm menggunakan 1 miliwatt sebagai tingkat sinyal (Andi Rahman, 2006:32)

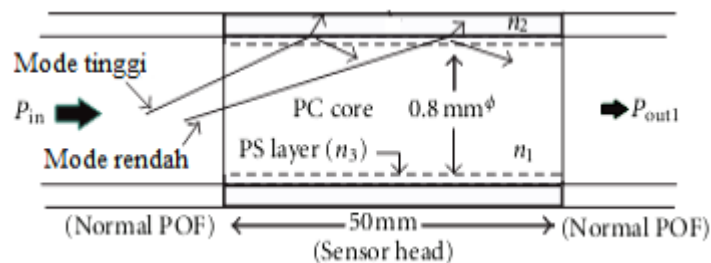
9. Sensor Fiber Optik

Sensor fiber optik adalah jenis sensor optik yang menggunakan fiber optik dalam mekanisme pengindraan atau pendeteksian, baik sebagai komponen aktif sensor maupun sekedar sebagai pemandu gelombang (optik) saja. Sistem sensor fiber optik dilengkapi dengan paling tidak 3 komponen utama yaitu komponen optoelektronik, link optik dan probe. Komponen optoelektronik meliputi sumber cahaya, detektor optik dan pengolahan sinyal. Link optik berupa gelombang fiber optik yang berfungsi memandu cahaya atau dari bagian pengindraan (*sensing region*). Sedangkan probe adalah bagian sensing atau transducing, baik pada bagian di dalam fiber optik atau di luar fiber optik, yang bertindak sebagai transduser dan berinteraksi langsung dengan obyek atau besaran yang diukur.

Sensor fiber optik didasarkan pada mekanisme modulasi gelombang optik (cahaya) dari suatu sumber seperti LED, diode Laser atau yang lainnya. Kuantitas optik yang dimodulasi dapat berupa intensitas atau amplitudo, panjang gelombang, fase gelombang dan polarisasi gelombang optik tersebut. Modulasi ini dapat terjadi di luar maupun di dalam fiber optik (Akhiruddin Maddu, 2007: 38).

Prinsip kerja sensor fiber optik berdasarkan pengukuran rugi daya pada bagian fiber yang dibuka jaket dan selongsong-nya. Pada bagian fiber dengan panjang tertentu selongsong sengaja dibuka agar terdapat

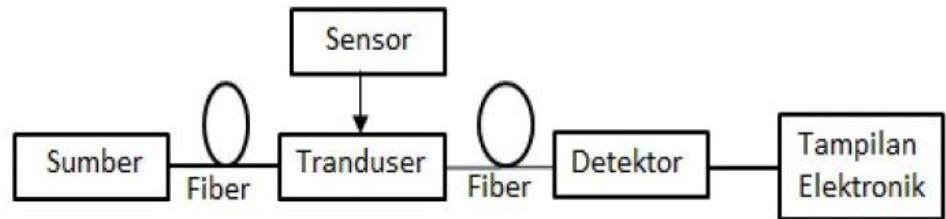
rugi daya bocor. Bagian serat yang dibuka berfungsi sebagai *sensor head*. Dengan adanya rugi bocor maka terdapat perbedaan antara daya cahaya masukan pada satu ujung serat dengan daya cahaya luaran yang diukur pada ujung lainnya. Struktur *sensor head* ditunjukkan dalam Gambar 12, yang bertindak sebagai serat optik yang merugi ($n_i < n_2$) dan cahaya yang melaluinya akan mempunyai intensitas yang sangat rendah. Intensitas cahaya keluaran P_{out1} , dicari dengan metode pelacakan sinar (Khambali dan Endarko, 2014:33)



Gambar 12: Struktur inti POF bocor tanpa ion-ion logam $n_2 > n_1$ (Khambali dan Endarko, 2014:33)

Konfigurasi sistem fiber optik digambarkan dengan skema pada Gambar 13. Sumber cahaya dilewatkan melalui salah satu ujung fiber optik menuju daerah modulasi cahaya, modulator atau transduser, selanjutnya diteruskan ke ujung lain fiber optik dimana terdapat detektor cahaya atau dapat juga setelah termodulasi, cahaya tersebut dikembalikan melalui fiber optik yang sama menuju detektor. Cahaya tersebut dimodulasi oleh besaran-besaran medium yang diukur (measurand), yaitu

besaran kimia, biologi atau fisika sebagai besaran (parameter) yang akan dideteksi (Akhiruddin Maddu, 2007:39).



Gambar 13: Skema sistem sensor fiber optik (Akhiruddin Maddu,2007:39)

Berdasarkan lokasi proses modulasi, di luar (ekstrinsik) atau di bagian dalam (intrinsik) fiber optik, sensor fiber optik diklasifikasikan menjadi sensor ekstrinsik dan intrinsik. Masing-masing dilengkapi dengan komponen-komponen optik dan elektronik yaitu sumber cahaya, fiber optik detektor cahaya dan piranti pengolah sinyal serta elemen pengindera (*sensing element*).

Ada beberapa hal yang dapat dilakukan untuk merealisasikan tipe sensor fiber optik intrinsik, yaitu dengan tanpa memodifikasikan struktur fiber optik (selongsong atau inti). Sensor fiber optik intrinsik juga dapat dilakukan melalui prinsip microbending dan macrobending pada fiber optik, biasanya diaplikasikan sebagai sensor fisis seperti sensor strain, tekanan dan sebagainya. Selain itu sensor intrinsik juga dapat memanfaatkan sifat aktif inti fiber optik.

10. Suhu

Suhu adalah indikasi dari energi termal yang mengandung materi (Langhans dan Tibbitts, 1997:31). Skala pada suhu adalah kisaran angka untuk mengukur tingkat panas. Suhu sehari-hari biasanya diukur pada skala celcius. Angka pada skala dipilih secara khusus sehingga es murni mencair pada 0°C dan air murni mendidih pada suhu 100°C (di bawah tekanan atmosfer standar 101325 pascal). Suhu di bawah 0°C memiliki nilai negatif (-).

Dalam objek apapun, partikel (atom atau molekul) bergerak, sehingga memiliki energi kinetik. Mereka bergerak dengan kecepatan yang bervariasi, namun semakin tinggi suhu, semakin cepat pergerakannya. Jika benda panas ditempatkan sehingga terjadi kontak dengan benda dingin, ada transfer energi panas dari satu ke yang lain. Saat benda panas mendingin, partikel kehilangan energi kinetik. Saat benda dingin memanaskan, partikel mendapatkan energi kinetik. Ketika kedua benda mencapai suhu yang sama, pengalihan energi berhenti karena energi kinetik rata-rata per partikel sama pada keduanya (Stephen, 1999:100-101).

11. Gel

Gel merupakan suatu sistem setengah padat yang terdiri dari suatu dispersi yang tersusun baik dari partikel anorganik yang kecil atau molekul

organik yang besar dan saling diresapi cairan (Ansel, 2011). Gel menggunakan makromolekul yang terdispersi ke seluruh cairan sampai terbentuk massa kental yang homogen, massa seperti ini disebut sebagai gel satu fase. Massa gel terdiri dari kelompok-kelompok partikel kecil yang berbeda, maka dikelompokkan sebagai sistem dua fase dan sering disebut sebagai magma atau susu. Gel magma dianggap sebagai dispersi koloid oleh karena masing-masing mengandung partikel-partikel dengan ukuran koloid (Anwar, 2012).

Menurut Lacham (1994), sifat dan karakteristik gel ada 6 meliputi:

a. *Swelling*

Gel dapat mengembang karena komponen pembentuk gel dapat mengabsorpsi larutan sehingga terjadi penambahan volume. Pelarut akan berpenetrasi di antara matriks gel dan terjadi interaksi antara pelarut dengan gel. Pengembangan gel kurang sempurna bila terjadi ikatan silang antar polimer didalam matriks gel yang dapat menyebabkan kelarutan komponen gel berkurang.

b. *Sineres*

Suatu proses yang terjadi akibat adanya kontraksi di dalam massa gel. Cairan yang terjat akan keluar dan berada di atas permukaan gel. Pada waktu pembentukan gel terjadi tekanan yang elastis, sehingga terbentuk massa gel yang tegar. Mekanisme terjadinya kontraksi berhubungan dengan fase relaksasi akibat adanya tekanan elastis pada saat

terbentuknya gel. Adanya perubahan pada ketegaran gel akan mengakibatkan jarak antar matriks berubah, sehingga memungkinkan cairan bergerak menuju permukaan. Sineresis dapat terjadi pada hidrogel maupun organogel.

c. Efek suhu

Efek suhu mempengaruhi struktur gel. Gel dapat terbentuk melalui penurunan temperatur tapi dapat juga pembentukan gel terjadi setelah pemanasan hingga suhu tertentu. Polimer seperti MC, HPMC, terlarut hanya pada air yang dingin membentuk larutan yang kental. Pada peningkatan suhu larutan tersebut membentuk gel. Fenomena pembentukan gel atau pemisahan fase yang disebabkan oleh pemanasan disebut thermogelation.

d. Efek elektrolit

Konsentrasi elektrolit yang sangat tinggi akan berpengaruh pada gel hidrofilik di mana ion berkompetisi secara efektif dengan koloid terhadap pelarut yang ada dan koloid digaramkan (melarut). Gel yang tidak terlalu hidrofilik dengan konsentrasi elektrolit kecil akan meningkatkan rigiditas gel dan mengurangi waktu untuk menyusun diri sesudah pemberian tekanan geser. Gel Na-alginat akan segera mengeras dengan adanya sejumlah konsentrasi ion kalsium yang disebabkan karena terjadinya pengendapan parsial dari alginat sebagai kalsium alginat yang tidak larut.

e. Elastisitas dan rigiditas

Sifat ini merupakan karakteristik dari gel gelatin agar dan nitroselulosa, selama transformasi dari bentuk sol menjadi gel terjadi peningkatan elastisitas dengan peningkatan konsentrasi pembentuk gel. Bentuk struktur gel resisten terhadap perubahan atau deformasi dan mempunyai aliran viskoelastik. Struktur gel dapat bermacam-macam tergantung dari komponen pembentuk gel.

f. Rheologi

Larutan pembentuk gel (gelling agent) dan dispersi padatan yang terflokulasi memberikan sifat aliran pseudoplastis yang khas, dan menunjukkan jalan aliran non – Newton yang dikarakterisasi oleh penurunan viskositas dan peningkatan laju aliran.

B. KERANGKA BERPIKIR

Penelitian ini didasari untuk mencari suatu medium yang dapat digunakan sebagai sensor dengan memilih fiber optik sebagai obyek penelitian.

Fiber optik tidak hanya digunakan dalam sistem komunikasi tetapi dapat juga digunakan sebagai sensor. Sebagai contoh sensor tekanan, suhu, dan lain sebagainya. Sebagai sumber cahaya digunakan laser HeNe yang dilewatkan pada fiber optik. Prinsip kerja serat optik menggunakan hukum pembiasan dan pemantulan yang berhubungan dengan indeks bias bahan. Penelitian ini menggunakan sensor suhu berbasis fiber optik polymer (POF) yang

berbentuk spiral dan berjaket gel. Bentuk spiral yang digunakan memiliki variasi jumlah lilitan yaitu 1, 3, 5, dan 7 lilitan dengan diameter spiral adalah 2,50 cm serta pada bentuk spiral di lapisi oleh gel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sensitivitas sensor suhu berbasis fiber optik polymer (POF) pada suhu 6°C - 20°C dan pengaruh jumlah lilitan terhadap sensor suhu berbasis fiber optik polymer (POF).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

1. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2016 sampai Mei 2017.

2. Tempat Penelitian

Tempat penelitian ini dilakukan di Laboratorium Spektroskopi Fisika Universitas Negeri Yogyakarta.

B. Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel bebas : Suhu air dan jumlah lilitan
2. Variabel terikat : Daya optik yang diterima oleh OPM
3. Variabel kontrol : Daya laser Helium-Neon, diameter spiral, panjang kabel POF, volume air

C. Alat dan Bahan

1. Alat yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Termometer

Termometer digunakan sebagai alat pengukur suhu dari 6°C sampai 20°C.

2. Laser

Laser digunakan sebagai sumber cahaya. Laser yang digunakan adalah laser Helium-Neon dengan daya keluaran 5 mW dan $\lambda = 632,8 \text{ nm}$.

3. *Optical Power Meter* (OPM)

Optical Power Meter adalah alat pengukur Intensitas pada sinyal optik. Intensitas yang diukur memiliki $\lambda = 660 \text{ nm}$ dengan satuan desibel meter (dBm).

4. Statif

Statif digunakan sebagai alat untuk menggantung termometer.

5. Pralon

Pralon digunakan sebagai alat untuk membentuk kabel Fiber Optik Polymer (POF) menjadi spiral. Pralon yang digunakan berdiameter 2,50 cm.

6. Wadah

Wadah digunakan sebagai tempat air dan es serta media pengaturan suhu pada kabel Fiber Optik Polymer (POF).

7. Palu

Palu digunakan sebagai alat penghancur es batu.

8. Amplas

Amplas digunakan untuk meratakan ujung-ujung Fiber Optik Polymer (POF)

9. Alat suntik

Alat suntik digunakan untuk mnyuntikkan gel kedalam selang kecil pada kabel Fiber Optik Polymer (POF).

2. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Kabel Fiber Optik Polymer (POF)

Kabel Fiber Optik Polymer (POF) yang digunakan adalah tipe SH-40001-1.3 dengan panjang 136 cm dan banyak spiral yang digunakan adalah 1,3,5 dan 7 lilitan

b. Selang kecil

Selang kecil digunakan untuk pengganti jaket pelindung kabel Fiber Optik Polymer (POF).

c. Gel

Gel digunakan sebagai media pengisi selang kecil pengganti jaket pelindung kabel Fiber Optik Polymer (POF).

d. Lem

Lem digunakan untuk merekatkan ujung-ujung selang kecil dengan kabel Fiber Optik Polymer (POF) agar tidak bergeser dan agar gel pengisi selang tidak keluar.

e. Es batu

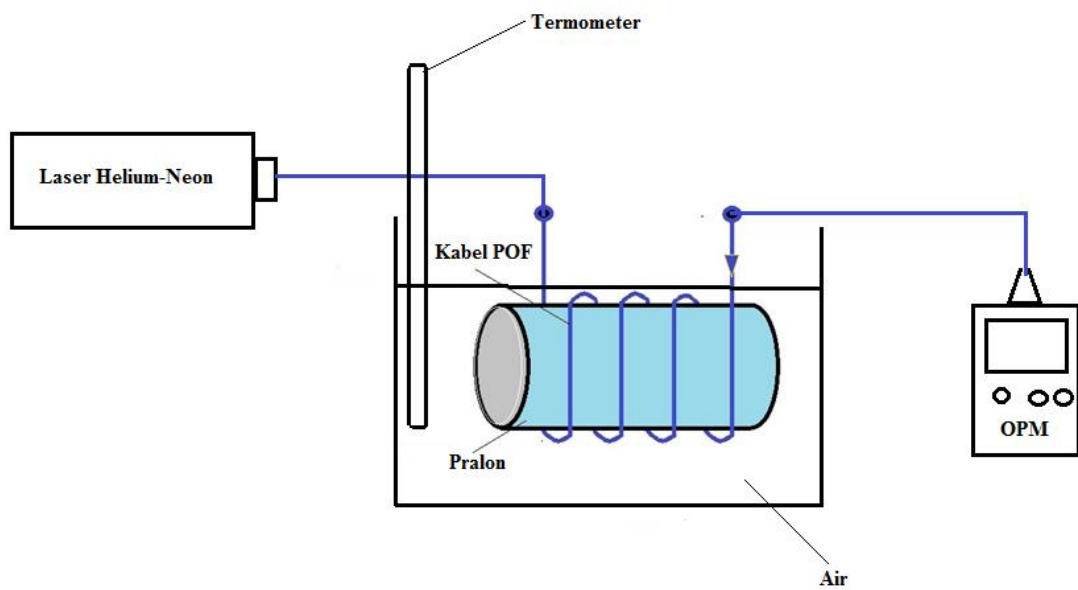
Es batu digunakan untuk menurunkan suhu air hingga 6°C.

f. Kabel tie

Kabel tie digunakan untuk mengikat ujung-ujung spiral kabel Fiber Optik Polymer (POF) pada pralon.

D. Desain Penelitian

1. Desain alat penelitian



Gambar 14: Desain Alat Penelitian

2. Spesifikasi perlakuan Fiber Optik Polymer (POF)

Spesifikasi	Jumlah Spiral (lilitan)			
	1	3	5	7
Panjang Fiber (cm)	136	136	136	136
Panjang Pengelupasan (cm)	9	27	45	63
Panjang selang (cm)	10	28	46	64
Diameter Spiral (cm)	2,5	2,5	2,5	2,5
Volume Air (liter)	2	2	2	2

Tabel 3: Spesifikasi perlakuan Fiber Optik Polymer (POF)

E. Prosedur Penelitian

1. Membuat bentuk spiral pada kabel Fiber Optik Polymer (POF) sesuai dengan spesifikasi pada tabel 15 yaitu:
 - a. Memotong kabel Fiber Optik Polymer (POF) sepanjang 136 cm sebanyak 4 buah.
 - b. Mengelupas jaket pelindung kabel Fiber Optik Polymer (POF).
 - c. Menyelimuti bagian yang di kelupas dengan selang kecil.
 - d. Merekatkan masing-masing ujung selang kecil dengan lem ke kabel Fiber Optik Polymer (POF).
 - e. Menyuntikkan gel dengan syringe untuk mengisi selang kecil.
 - f. Membentuk spiral pada pralon dan mengikat ujung-ujung spiral dengan kabel tie.
 - g. Meratakan ujung-ujung Kabel Fiber Optik Polymer (POF) dengan menggunakan amplas.
2. Menurunkan suhu air
 - a. Memecahkan es dengan palu dan memasukkan dalam wadah.
 - b. Memberi air pada wadah hingga suhu 6°C dan volume 2 L.
3. Menyiapkan alat sesuai desain penelitian pada tabel 3.
4. Menyalakan laser Helium-Neon dan tunggu hingga stabil.
5. Mencatat daya optik yang di tunjukkan oleh *Optical Power Meter* (OPM) setiap kenaikan 1°C untuk suhu 6°C sampai 20°C.

F. Teknik Analisis Data

Data yang didapat selama penelitian diolah dengan beberapa tahap sebagai berikut:

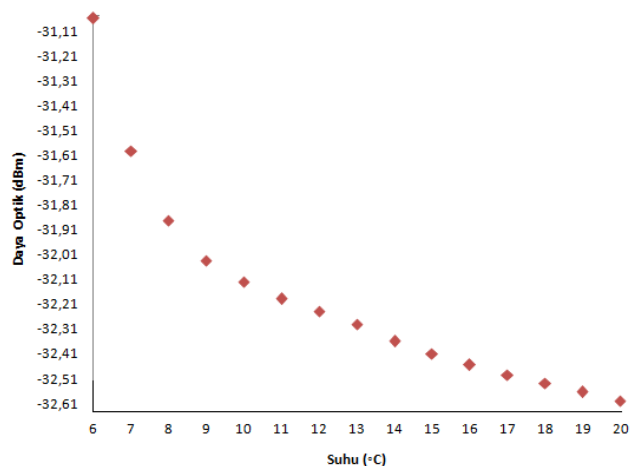
1. Data yang diambil dalam pengukuran ini adalah daya optik keluaran Fiber Optik Polymer yang dideteksi dengan menggunakan OPM.
2. Penentuan daya optik yang melewati Polymer Optical Fiber sebagai fungsi suhu pada Fiber Optik Polymer yang diperoleh dengan kenaikan suhu.
3. Percobaan diulangi dengan menambah variasi jumlah spiral.
4. Membuat tabel data suhu($^{\circ}\text{C}$) dan daya optik keluaran yang diukur dalam decibel meter (dBm) menggunakan Software Microsoft Excel 2007.
5. Membuat grafik hubungan suhu dan daya optik, melakukan fitting logarithmic dengan menggunakan Software Origin 8.0.
6. Menghitung nilai sensitivitas sensor suhu dan regresi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan pengambilan data di laboratorium spektroskopi maka diperoleh daya keluaran optik yang dinyatakan dalam satuan desibel meter (dBm). Daya keluaran optik dideteksi dengan menggunakan Optical Power Meter (OPM). Cahaya laser Helium-Neon ditransmisikan oleh Fiber Optik Polymer (POF). Fiber optik yang digunakan adalah Fiber Optik Polymer tipe SH-4001-1.3. Variabel bebas dari penelitian ini adalah suhu air 6°C - 20°C dengan interval 1°C, dan jumlah lilitan dengan variasi 1, 3, 5 dan 7 lilitan. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:

1. Pengaruh suhu terhadap daya optik

a. 1 lilitan

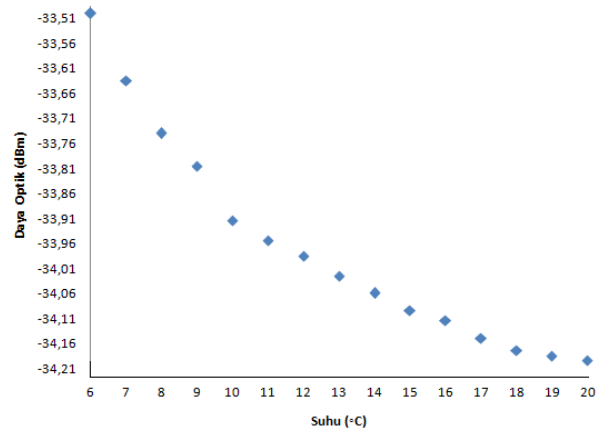


Gambar 15: Grafik suhu dengan daya optik untuk 1 lilitan

Gambar 15 menunjukkan hubungan suhu dalam celcius dan daya optik dalam dBm. Daya optik yang terukur memiliki interval -31,06 dBm

hingga -32,60 dBm untuk suhu 6°C - 20°C dengan penurunan sebesar 1,54 dBm.

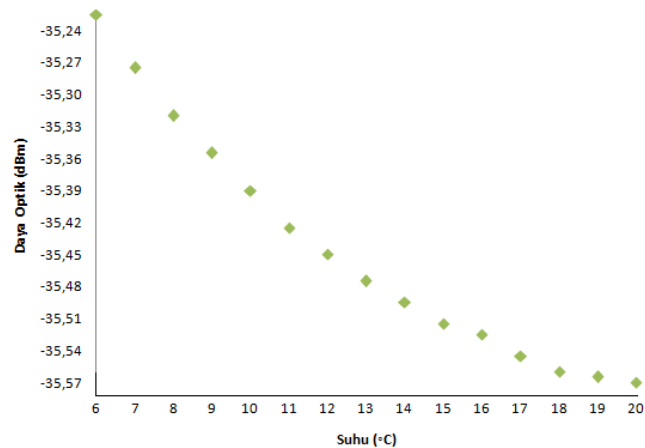
b. 3 lilitan



Gambar 16: Grafik suhu dengan daya optik untuk 3 lilitan

Gambar 16 menunjukkan hubungan suhu dalam celcius dan daya optik dalam dBm. Daya optik yang terukur memiliki interval -33,50 dBm hingga -34,20 dBm untuk suhu 6°C - 20°C dengan penurunan sebesar 0,70 dBm.

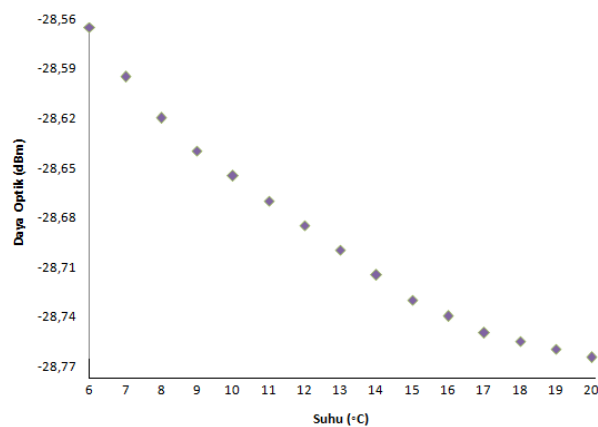
c. 5 lilitan



Gambar 17: Grafik suhu dengan daya optik untuk 5 lilitan

Gambar 17 menunjukkan hubungan suhu dalam celcius dan daya optik dalam dBm. Daya optik yang terukur memiliki interval -35,23 dBm hingga -35,57 dBm untuk suhu 6°C - 20°C dengan penurunan sebesar 0,34 dBm.

d. 7 lilitan



Gambar 18: Grafik suhu dengan daya optik untuk 7 lilitan

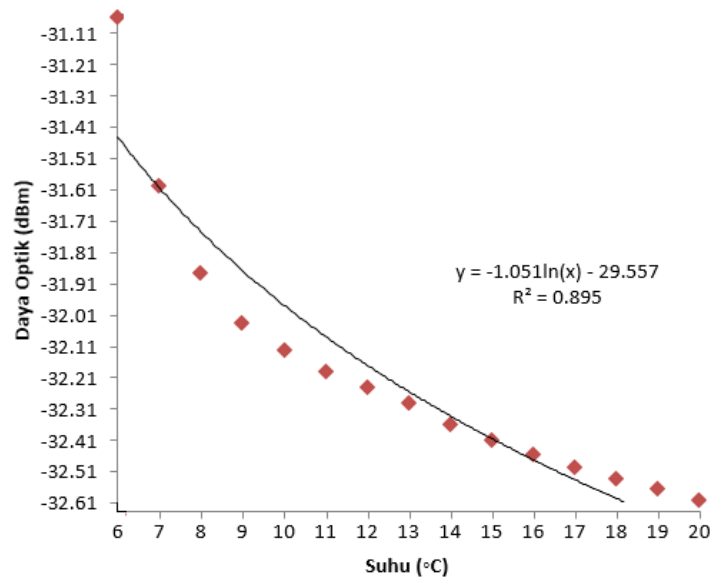
Gambar 18 menunjukkan hubungan suhu dalam celcius dan daya optik dalam dBm. Daya optik yang terukur memiliki interval -28,57 dBm hingga -28,77 dBm untuk suhu 6°C - 20°C dengan penurunan sebesar 0,20 dBm.

2. Fitting Logarithmic

Fitting logarithmic berfungsi bila laju perubahan data meningkat atau menurun dengan cepat. Fitting logarithmic dapat menggunakan nilai negatif dan positif. Logarithmic Fitting dilakukan untuk menentukan tingkat

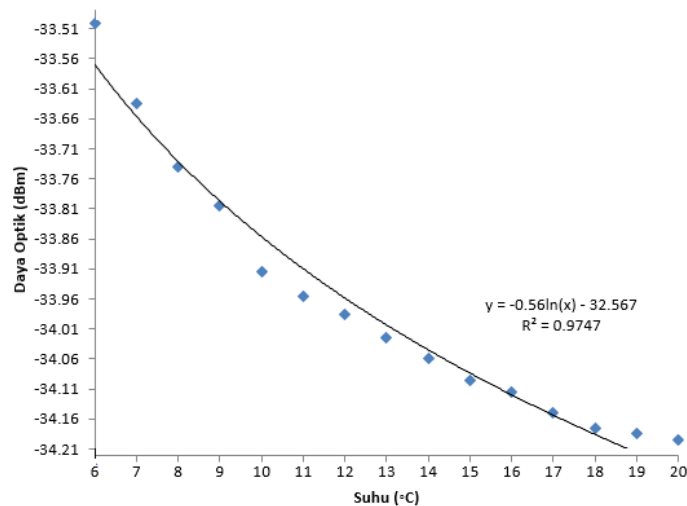
keakuratan data yang diperoleh dan untuk mengetahui persamaan matematis dari grafik hasil percobaan. Grafik logarithmic Fitting pada suhu 6°C-20°C ditunjukkan oleh gambar 20.

a. Fitting logarithmic 1 lilitan



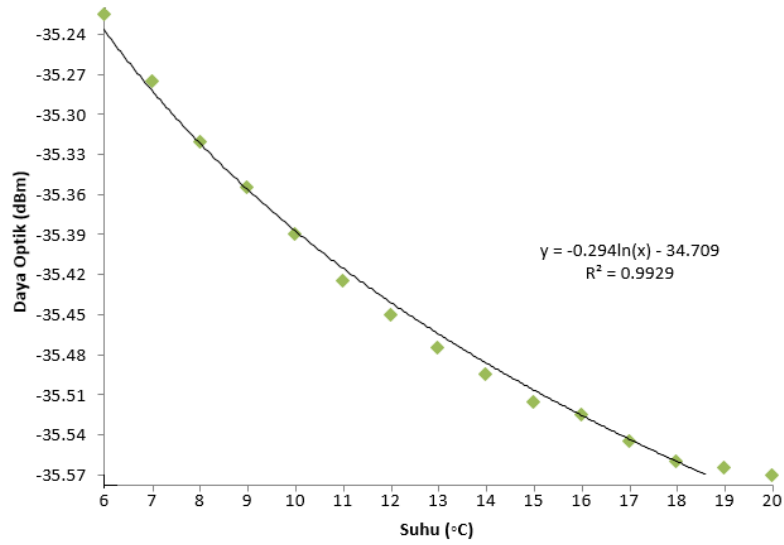
Gambar 19: Grafik fitting logarithmic untuk hubungan suhu dan daya optik pada 1 lilitan

b. Fitting logarithmic 3 lilitan



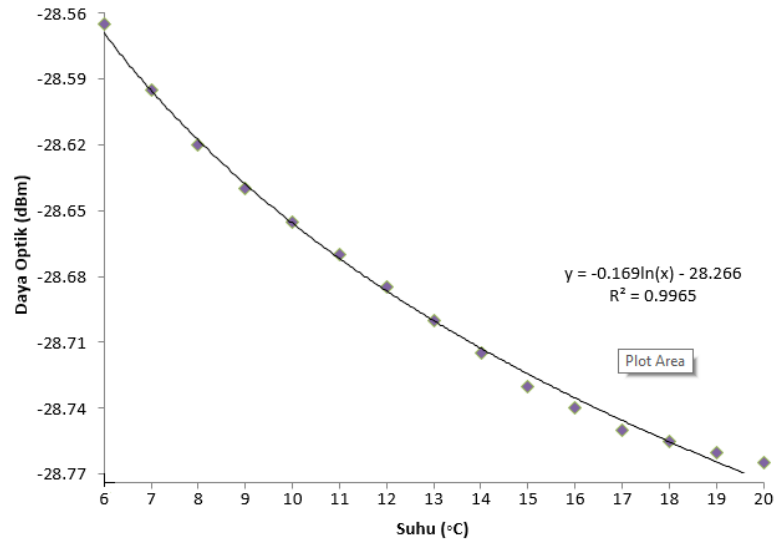
Gambar 20: Grafik fitting logarithmic untuk hubungan suhu dan daya optik pada 3 lilitan

c. Fitting logarithmic 5 lilitan



Gambar 21: Grafik fitting logarithmic untuk hubungan suhu dan daya optik pada 5 lilitan

d. Fitting logarithmic 7 lilitan



Gambar 22: Grafik fitting logarithmic untuk hubungan suhu dan daya optik pada 5 lilitan

Dengan hasil fitting logarithmic seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4: Tabel hasil Logarithmic fitting untuk jumlah spiral masing-masing

	Value			
	1	3	5	7
m	-1.051	-0.560	-0.294	-0.169
b	-29.557	-32.567	-34.709	-28.266
R²	0.895	0.974	0.993	0.996

Sehingga dari data fitting tersebut dapat di substitusikan ke dalam persamaan:

$$y = m \cdot \ln(x) + b \quad (14)$$

Menghasilkan persamaan,

$$y_1 = -1,051 \ln(x) - 29,557 \quad \text{untuk } n=1$$

$$y_3 = -0,560 \ln(x) - 32,567 \quad \text{untuk } n=3$$

$$y_5 = -0,294 \ln(x) - 34,709 \quad \text{untuk } n=5$$

$$y_7 = -0,169 \ln(x) - 28,266 \quad \text{untuk } n=7$$

Garis fitting logarithmic memiliki persamaan bentuk $y = m \cdot \ln(x) + b$, di mana m adalah gradien.

A. Pembahasan

1. Karakterisasi Fiber Optik Polymer (POF)

Fiber optik dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, hal ini dapat di ketahui berdasarkan indeks bias dan mode perambatannya. Berdasarkan

indeks bias dapat di ketahui melalui perbedaan pada indeks bias inti dan indeks bias selongsong yang dapat diperoleh melalui persamaan:

$$NA = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

$$n_2 = (n_1^2 - NA^2)^{1/2}$$

$$n_2 = (1,49^2 - 0,50^2)^{1/2}$$

$$n_2 = 1,40$$

Nilai $n_1 > n_2$ yang menunjukkan indeks bias inti yang lebih besar dari indeks bias selongsong, hal ini menunjukkan bahwa POF ini adalah fiber step-index. Berdasarkan mode penjarannya dapat diketahui dengan menggunakan persamaan struktural parameter V:

$$V = \frac{2\pi\rho}{\lambda} (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

$$V = \frac{2\pi(980 * 10^{-6})}{632,8 * 10^{-9}} (1,49^2 - 1,40^2)^{1/2}$$

$$V = 4.862$$

Nilai parameter V yaitu 4.862, maka POF ini adalah multimode karena $V > 2.405$, sehingga POF yang digunakan untuk penelitian ini adalah POF step-index multimode.

2. Sensitivitas sensor suhu berbasis fiber optik polymer (POF)

Uji logarithmicitas bertujuan untuk mengetahui apakah dua variabel memiliki hubungan yang logarithmic atau tidak. Dalam penelitian ini kedua variabel itu adalah suhu dan daya optik. Sementara sensitivitas merupakan

perubahan pada output untuk setiap perubahan input. Tabel 5 menyatakan nilai logarithmicitas dan sensitivitas untuk setiap jumlah spiral yang berbeda pada suhu 6°C-20°C.

Tabel 5: Regresi dan sensitivitas sensor suhu berbasis fiber optik polymer

Jumlah Spiral (n)	Regresi	Sensitivitas (dBm/°C)
1	0,895	-1,051
3	0,974	-0,560
5	0,993	-0,294
7	0,996	-0,169

Berdasarkan tabel 5, nilai regresi untuk masing-masing jumlah spiral adalah 0,895 pada 1 lilitan, 0,974 pada 3 lilitan, 0,993 pada 5 lilitan dan 0,996 pada 7 lilitan. Hal ini menunjukkan bahwa regresi terbaik adalah pada 7 lilitan. Dimana nilai regresi yang mendekati 1 akan menunjukkan bahwa data pada sumbu x dan y memiliki hubungan logarithmic.

Tabel 5 juga menunjukan bahwa sensitivitas untuk sensor suhu berbasis fiber optik polymer dari terkecil yaitu -0,169 dBm/°C dengan jumlah spiral dengan 7 lilitan, -0,294 dBm/°C dengan jumlah spiral dengan 5 lilitan, -0,560 dBm/°C dengan jumlah spiral dengan 3 lilitan dan -1,051 dBm/°C dengan jumlah spiral dengan 1 lilitan.

Nilai sensitivitas di dapatkan dari tabel 5, dimana nilai m menunjukkan gradien atau kemiringan grafik. Nilai negatif berarti bahwa, untuk dua variabel x dan y, kenaikan x dikaitkan dengan penurunan y. Nilai negatif menunjukkan hubungan antara dua variabel dengan cara yang sama seperti nilai positif, dan kekuatan relatif adalah sama. Hal ini menunjukkan

hubungan sumbu-x yaitu suhu dan sumbu-y adalah daya optik adalah logarithmic. Sehingga sensitivitas terbaik adalah 1,051 dBm/°C pada 1 lilitan.

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Sensitivitas sensor suhu berbasis fiber optik polymer (POF) terbaik adalah 1,051 dBm/°C dengan jumlah spiral 1 lilitan.
2. Peningkatan jumlah lilitan berpengaruh pada penurunan sensitivitas sensor suhu berbasis fiber optik polymer (POF).

B. Saran

1. Dalam penyimpanan kabel sebaiknya lebih cermat agar dapat meminimalisir gelembung-gelembung udara yang terdapat pada gel.
2. Saat melakukan pengambilan data sebaiknya suhu ruangan tetap dan tidak menggunakan pendingin ruangan agar hasil yang diperoleh lebih baik.

Daftar Pustaka

- A. Arifin. et al. (2017). *Comparison Of Sensitivity And Resolution Load Sensor At Various Configuration Polymeroptical Fiber*. American institute of physics. Hlm. 1.
- Agrawal, Govind P.(2002). *Fiber-Optic Communications Systems Third Edition*. New york:John Wiley & Sons, Inc.
- Ahmad Mulia Rambe. (2003). *Penggunaan Serat Optik Plastik Sebagai Media Transmisi Untuk Alat Ukur Temperatur Jarak Jauh*. Medan: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara
- Akhiruddin Maddu. (2007). *Pengembangan Sensor*. Universitas Indonesia
- Andi Rahman Nugraha. (2006). *Serat Optik*. Yogyakarta: Andi
- André Martins. et al. (2006). *Modeling of Bend Losses in Single Mode Optical Fibers*. Hlm.1.
- Ansel, Horward C. (2011). *Ansel's Pharmaceutical Dosage Forms and Drug Delivery Systems 9th edition*. Philadelphia: Lippincot Williams & Wilkins.
- Anwar, Effionora. (2012). *Eksipien dalam Sediaan Farmasi: Karakteristik dan Aplikasi*. Jakarta: Dian Rakyat.
- Ariani, Puspita Fahmi dan Prajitno, Gontjang. (2016). *Analisis Pengaruh Panjang Kupasan dan Perubahan Suhu Terhadap Pancaran Intensitas pada Serat Optik Plastik Multimode Tipe FD-620-10*. JURNAL SAINS DAN SENI ITS Vol. 5 No. 2. Hlm. 107
- Bahreh Gholamzadeh dan Hooman Nabovati. (2008). *Fiber Optic Sensors*. International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering. Hlm. 1107.
- Crisp, John & Elliott, Barry. (2008). *Serat Optik: Sebuah Pengantar*. Jakarta:Erlangga
- Enbang Li, Xiaolin Wang, Chao Zang. (2006). *Fiber-optic temperature sensor based on interference of selective higher-order modes*. American Institute of Physics. Volume 89. Issue 9
- Eska Optical Fiber Division. (2006). *Spesification Sheet SH4001-1.3*. Calsak Corporation. Diakses dari <http://i-fiberoptics.com>. Pada tanggal 5 juli 2017, Jam 17.04 WIB
- Ghatak, Ajoy & Thyagarajan, K. (2010) . *Introduction To Fiber Optics*. England: Cambrige University Press
- Harsono. (2010). *Rugi-Rugi Pada Serat Optik Bermode Tunggal Dan Jamak Dengan Sebaran Indeks Bias Undakan Akibat Penelitian Pada Silinder Secara Malar*. Tesis Universitas Sebelas Maret. Surakarta

- Joseba Zubia & Jon Arrue. (2002). *Plastic Optical Fibers: An Introduction to Their Technological Processes and Applications*. Optical Fiber Technology 7. Hlm. 102-103.
- Keiser, Gred. (1991) . *Optical Fiber Communications*. Singapore: Mc Graw-Hill Publishing Company
- Lachman, Leon, dkk. 1994. *Teori dan Praktek Farmasi Industri II*. Jakarta: UIPress.
- Langhans, R.W. & Tibbitts, T.W. (1997). *Plant Growth Chamber Handbook*. United Stated: Iowa State University
- P. V. Thorat. et al. (2014). *Plastic Optical Fiber*. International Journal Of Engineering Research And Reviews Vol. 2, Issue 4. Hlm. 2-3.
- Pople, Stephen. (1999). *Complete Physics*. England: Oxford University Press.
- T. Sawatari dan P. A. Gaubis. (2000). *FIBER OPTIC TEMPERATURE SENSOR*. US6141098 A
- Thomas Sri Widodo. (1995). *Optoelektronika Komunikasi Serat Optik*. Yogyakarta: Andi

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data hasil percobaan untuk variasi jumlah lilitan pada sensor suhu berbasis Fiber Optik Polymer (POF)

Tabel 1: Daya Optik untuk jumlah spiral 1 lilitan

No	Suhu (°C)	log suhu (°C)	Daya Optik (dBm)		Daya Optik Rata-Rata (dBm)
			I	II	
1	6	0,78	-31,71	-30,41	-31,06
2	7	0,85	-32,33	-30,86	-31,60
3	8	0,90	-32,60	-31,15	-31,88
4	9	0,95	-32,68	-31,39	-32,04
5	10	1,00	-32,77	-31,47	-32,12
6	11	1,04	-32,83	-31,55	-32,19
7	12	1,08	-32,88	-31,60	-32,24
8	13	1,11	-32,93	-31,65	-32,29
9	14	1,15	-32,99	-31,73	-32,36
10	15	1,18	-33,04	-31,78	-32,41
11	16	1,20	-33,08	-31,83	-32,46
12	17	1,23	-33,11	-31,88	-32,50
13	18	1,26	-33,14	-31,92	-32,53
14	19	1,28	-33,17	-31,96	-32,57
15	20	1,30	-33,20	-32,00	-32,60

Penurunan = -1,54

Tabel 2: Daya Optik untuk jumlah spiral 3 lilitan

No	Suhu (°C)	Log Suhu (°C)	Daya Optik (dBm)		Daya Optik Rata-Rata (dBm)
			I	II	
1	6	0,78	-33,50	-33,50	-33,50
2	7	0,85	-33,64	-33,63	-33,64
3	8	0,90	-33,72	-33,76	-33,74
4	9	0,95	-33,76	-33,85	-33,81
5	10	1,00	-33,90	-33,93	-33,92
6	11	1,04	-33,95	-33,96	-33,96
7	12	1,08	-33,99	-33,98	-33,99
8	13	1,11	-34,03	-34,02	-34,03
9	14	1,15	-34,06	-34,06	-34,06
10	15	1,18	-34,09	-34,10	-34,10
11	16	1,20	-34,11	-34,12	-34,12
12	17	1,23	-34,14	-34,16	-34,15
13	18	1,26	-34,17	-34,18	-34,18
14	19	1,28	-34,18	-34,19	-34,19
15	20	1,30	-34,19	-34,20	-34,20

Penurunan = -0,70

Tabel 3: Daya Optik untuk jumlah spiral 5 lilitan

No	Suhu (°C)	Log Suhu (°C)	Daya Optik (dBm)		Daya Optik Rata-Rata (dBm)
			I	II	
1	6	0,78	-35,61	-34,84	-35,23
2	7	0,85	-35,66	-34,89	-35,28
3	8	0,90	-35,70	-34,94	-35,32
4	9	0,95	-35,74	-34,97	-35,36
5	10	1,00	-35,78	-35,00	-35,39
6	11	1,04	-35,82	-35,03	-35,43
7	12	1,08	-35,84	-35,06	-35,45
8	13	1,11	-35,86	-35,09	-35,48
9	14	1,15	-35,88	-35,11	-35,50
10	15	1,18	-35,90	-35,13	-35,52
11	16	1,20	-35,91	-35,14	-35,53
12	17	1,23	-35,94	-35,15	-35,55
13	18	1,26	-35,97	-35,15	-35,56
14	19	1,28	-35,98	-35,15	-35,57
15	20	1,30	-35,99	-35,15	-35,57

Penurunan = -0,34

Tabel 4: Daya Optik untuk jumlah spiral 7 lilitan

No	Suhu (°C)	Log Suhu (°C)	Daya Optik (dBm)		Daya Optik Rata-Rata (dBm)
			I	II	
1	6	0,78	-28,72	-28,41	-28,57
2	7	0,85	-28,75	-28,44	-28,60
3	8	0,90	-28,77	-28,47	-28,62
4	9	0,95	-28,79	-28,49	-28,64
5	10	1,00	-28,81	-28,50	-28,66
6	11	1,04	-28,83	-28,51	-28,67
7	12	1,08	-28,85	-28,52	-28,69
8	13	1,11	-28,87	-28,53	-28,70
9	14	1,15	-28,89	-28,54	-28,72
10	15	1,18	-28,91	-28,55	-28,73
11	16	1,20	-28,93	-28,55	-28,74
12	17	1,23	-28,94	-28,56	-28,75
13	18	1,26	-28,95	-28,56	-28,76
14	19	1,28	-28,95	-28,57	-28,76
15	20	1,30	-28,96	-28,57	-28,77

Penurunan = -0,20

Lampiran 3. Skema Penelitian

